

*О. Н. Кривцова, Е. А. Панин, Н. Ю. Кузьминова, Е. В. Широкова*  
Карагандинский государственный индустриальный университет,  
Г. Темиртау, Казахстан

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАВНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ АРМАТУРНОГО ПРОФИЛЯ В ПРЕДЧИСТОВЫХ КАЛИБРАХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ**

Данная статья посвящена компьютерному моделированию сортовой прокатки арматурной стали с целью определения наиболее оптимальной формы предчистовых калибров для арматуры переходного профиля. Изучено влияние формы предчистовых калибров на деформированное состояние металла и возникающие усилия при прокатке.

*Ключевые слова:* арматурная сталь, переходный профиль, калибр, моделирование, Deform 3D.

This article is devoted to computer modeling of long-rolled reinforcing steel to determine the most optimal form of pre-fine calibers of reinforcing steel of the transition profile. The influence of the pre-fine calibers form on the deformed state of the metal and arising loads during rolling were studied.

*Keywords:* reinforcing steel, mediating shape, caliber, modeling, Deform 3D.

Арматура в железобетонных конструкциях воспринимает растягивающие усилия, что усиливает бетон сжатых зон конструкций. Характеристики арматуры зависят от химического состава стали и характера ее обработки. Несмотря на постоянное совершенствование технологии прокатки, при производстве сортовой металлопродукции все еще высока доля выхода металла в брак. В частности, при прокатке арматурной стали распространен такой геометрический дефект, как отсутствие продольных или поперечных ребер.

Из [1, 2] известно, что для заполнения чистовых калибров необходимо точное выполнение их геометрических размеров и минимальная анизотропия механических свойств по всему сечению деформируемого металла. Во втором случае возникают трудности, т. к. сложно предсказать точное распределение накопленной деформации как за все проходы в целом, так и в отдельных калибрах. С этой точки зрения, интерес представляет предчистовой калибр, после которого и формируется окончательный профиль. В работах [3–5] предложены формы предчистовых калибров для прокатки арматурной стали. Однако существуют «переходные» профили, которые одни авторы относят к малым, а другие – к большим; например профиль № 20. Для него в качестве предчистового калибра предлагается как однорадиусный овал, так и плоский овал с двойной вогнутостью. Так

же в [3] предложена калибровка для прокатки круглой и арматурной стали, главная особенность которой – предчистовой калибр в виде гладкой бочки.

Для выбора наиболее рациональной формы предчистового калибра, с точки зрения равномерности распределения накопленной деформации, по сечению заготовки при прокатке арматурного профиля № 20 было проведено компьютерное моделирование в программном комплексе «Deform-3D».

Деформация является кумулятивным параметром и при анализе технологического процесса сложно отследить ее изменение на каждом этапе. Поэтому провели единичное моделирование, т. е. моделирование только предчистового калибра. В результате были получены следующие распределения эквивалентной деформации (рис. 1).

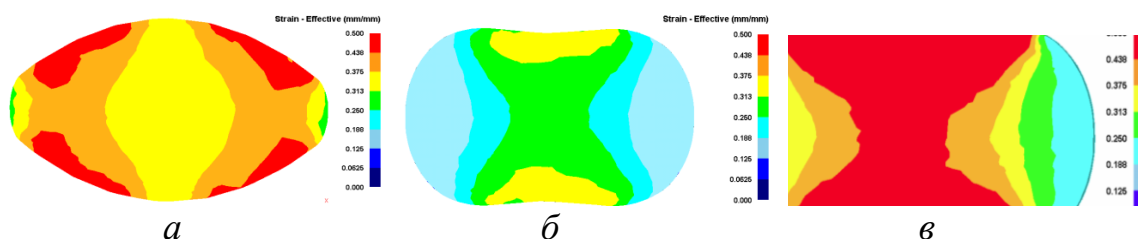


Рис. 1. Распределение эквивалентной деформации: *а* – однорадиусный овал; *б* – плоский овал; *в* – гладкая бочка овал с двойной вогнутостью

Так как перед попаданием в чистовой калибр заготовка кантуется на  $90^\circ$ , то анализировали распределение деформаций по вертикали и горизонтали. Также исследовали усилие прокатки для сравнения с базовой величиной, в качестве которой приняли значение, получаемое в однорадиусном овале, т. к. данный калибр наиболее распространен.

При прокатке в калибре формы однорадиусного овала распределение деформации протекает крайне неравномерно. При достаточно равномерном распределении в осевой зоне (рис. 2, *а*). При движении металла к стенкам калибра, значения деформации резко возрастают, особенно на наклонных участках раската. В то же время на боковых торцах, где после кантовки происходит формирование поперечных ребер будущей арматуры, наблюдается существенное снижение величины деформации (рис. 2, *б*). Усилие при установившемся процессе составило примерно 251,5 кН.

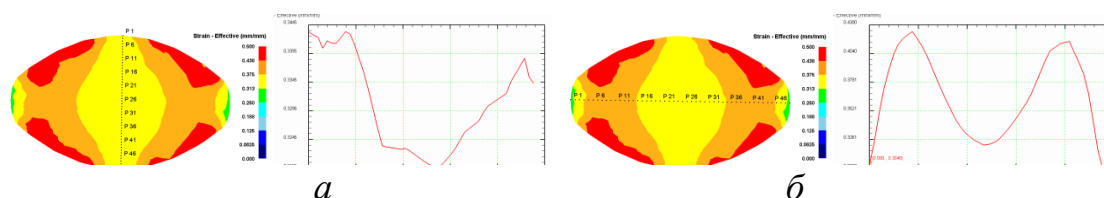


Рис. 2. Распределение деформации при прокатке в однорадиусном овале в вертикальном (*а*) и горизонтальном (*б*) направлениях

В вертикальном направлении распределение деформации составляет от 0,3195 до 0,3435 (разброс значений составил 7,5 %). В горизонтальном направлении распределение деформации составляет от 0,3008 до 0,4248 (разброс значений 41,2 %). При учете наклонных зон, где величина деформации достигает значения 0,5, разброс составляет 66,2 %.

При прокатке на гладкой бочке деформации распределены очень неравномерно. В осевой зоне наблюдается более равномерное распределение деформации (рис. 3), а при движении к боковым торцам – значительное ее снижение, т. к. там отсутствует контакт металла с валками. Усилие в установившейся стадии составляет примерно 184,3 кН, что несколько меньше, чем при моделировании предыдущего калибра.

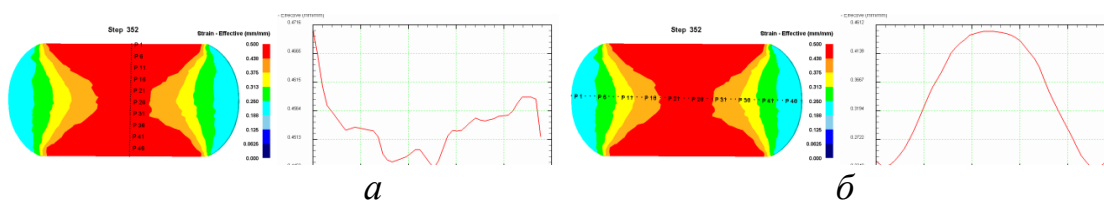


Рис. 3. Распределение деформации при прокатке на гладкой бочке в вертикальном (а) и горизонтальном (б) направлениях

В вертикальном направлении распределение деформации составляет от 0,4463 до 0,4705 (разброс значений составил 5,4 %). В горизонтальном направлении распределение деформации составляет от 0,2249 до 0,4517 (разброс значений составил 100,8 %).

При прокатке в калибре формы плоского овала с двойной вогнутостью распределение деформации протекает более равномерно. В осевой зоне – некоторое увеличение деформации за счет вогнутостей (рис. 4). На боковых торцах распределение деформации металла носит более равномерный характер. Это подтверждают графики распределения деформации – в первом калибре отчетливо видны пики, характеризующие резкое увеличение, затем снижение, и снова увеличение деформации. Во втором калибре график имеет более монотонный характер. Величина усилия составляет примерно 154,6 кН. Это минимальное значение усилия прокатки, полученное при моделировании трех различных калибров.

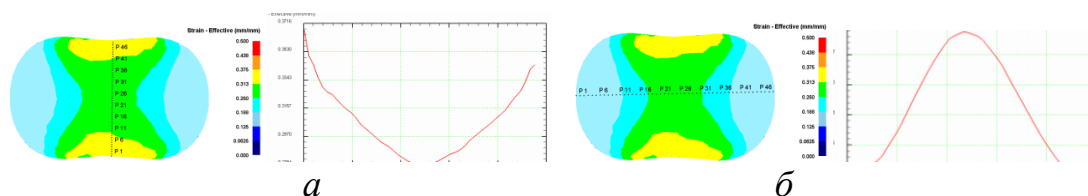


Рис. 4. Распределение деформации при прокатке в плоском овале в вертикальном (а) и горизонтальном (б) направлениях

В вертикальном направлении распределение деформации составляет от 0,2784 до 0,3678 (разброс значений 32,2 %). В горизонтальном направлении распределение деформации составляет от 0,1799 до 0,2512 (разброс значений 39,6 %).

### **Выводы**

1. При прокатке во всех трех вариантах предчистовых калибров распределение деформации носит неравномерный характер в вертикальном и горизонтальном направлениях.

2. Из рассмотренных калибров наиболее равномерное распределение деформации обеспечивает плоский овал с двойной вогнутостью, в котором разброс в вертикальном и горизонтальном направлениях примерно одинаков. В остальных двух калибрах разница разбросов довольно различная.

3. Анализ величин усилия показал, что при прокатке в плоском овале и на гладкой бочке значения усилия не превышают значение для однорадиусного овала, что говорит о возможности использования данных калибров на существующем оборудовании без его модернизации.

### **Список литературы**

1. *Смирнов В. К.* Калибровка прокатных валков : учеб. пособие для вузов / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инарович. 2-е изд-е, перераб. и доп. М.: Теплотехник, 2010. 490 с.

2. Технология прокатного производства / М. А. Беняковский, К. Н. Богоявленский, А. И. Виткин и др. М.: Металлургия, 1991. 423 с.

3. *Асанов В. Н.* Совершенствование калибровки валков для прокатки круглых и арматурных профилей / В. Н. Асанов, А. Б. Стеблов, О. Н. Тулупов, Д. В. Ленартович // Сталь. 2008. № 11. С. 90–92.

4. *Кривцова О. Н.* Прокатка арматурной стали переходного профиля в различных формах предчистовых калибров / О. Н. Кривцова, Е. А. Панин, Н. Ю. Кузьминова, В. А. Гизер // Вестник КГИУ. 2014. № 10. С. 101–112.

5. Rational Form of Pre-Calibers at Rolling of Reinforcing Steel / O. Krivsova, A. Root, G. Sivyakova, N. Kuzminova, E. Panin // 3rd International conference on Recent trends in structural materials “COMAT 2014”, Czech Republic, Praga. November 2014.